



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 08 426 A 1

51 Int. Cl. 7:
H 01 S 5/187
H 01 S 3/098

21 Aktenzeichen: 199 08 426.2
22 Anmeldetag: 26. 2. 1999
43 Offenlegungstag: 7. 9. 2000

DE 199 08 426 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Wipiejewski, Torsten, Dr., 93049 Regensburg, DE

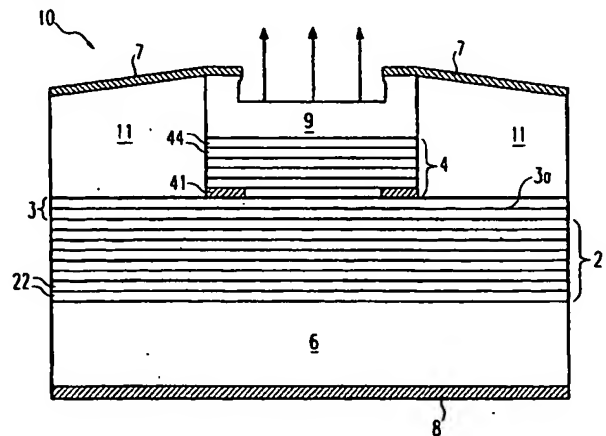
56 Entgegenhaltungen:
US 56 37 511
Laser und Optoelektronik, 30 (3), S. 78-85 (1998);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vertikalresonator-Laserdiode mit einer lichtabsorbierenden Schicht

57 Die Erfindung beschreibt eine Vertikalresonator-Laserdiode (10, 20), bei der zwischen einer ersten Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (2) und einer zweiten Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (4), von denen jede eine Mehrzahl von Spiegelpaaren (22, 44) aufweist, eine aktive Schichtenfolge (3) zur Erzeugung von Laserstrahlung angeordnet ist, die beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) einen Laser-Resonator bilden, die beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) und die aktive Schichtenfolge (3) zwischen einer ersten (7) und einer zweiten elektrischen Kontaktschicht (8) angeordnet sind, eine (4) der beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) für die in der aktiven Schichtenfolge (3) erzeugte Laserstrahlung teildurchlässig ist, wobei mindestens eine lichtabsorbierende Schicht (9) mit einer definierten Lichtabsorption zwischen der teildurchlässigen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (4) und der ersten elektrischen Kontaktschicht (7) oder auf der Lichtaustrittsseite der ersten elektrischen Kontaktschicht (7) angeordnet ist.



DE 199 08 426 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vertikalresonator-Laserdiode nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die Verwendung von Vertikalresonator-Laserdioden (VCSELs) in optischen Sendemodulen, wie z. B. PAROLI, erfordert oftmals einen relativ geringen differentiellen Quantenwirkungsgrad (DQE) des Bauelementes innerhalb enger Spezifikationsgrenzen. Dabei werden an die Reproduzierbarkeit der Fertigungsprozesse hohe Anforderungen gestellt. Zur Steigerung der Ausbeute wäre daher eine Einstellung des DQE nach dem epitaktischen Wachstum während der Bauelemente-Prozessierung wünschenswert.

Ein weiteres Problem von VCSELs besteht darin, daß Reflexionen der VCSEL-Ausgangsstrahlung an nahen Oberflächen, wie z. B. der Glasfaser-Stirnfläche, zu einem großen Rauschen des Bauelementes führen können, was die Leistungsfähigkeit optischer Datenübertragungssysteme limitiert.

Der DQE von VCSELs wird bislang durch die Eigenschaften der Halbleiterschichten bestimmt, die während des epitaktischen Wachstums auf dem Wafer abgeschieden werden. Um einen relativ niedrigen DQE zu erreichen, werden beispielsweise eine große Zahl von Schichtpaaren im Auskoppelspiegel des VCSELs verwendet. Dadurch steigt jedoch die interne optische Intensität im Vergleich zu der externen Strahlungsstärke an, was sich nachteilig auf die Lebensdauer der Bauelemente auswirken kann.

Die Rückwirkungsempfindlichkeit von VCSELs wurde bislang allenfalls durch externe optische Elemente, wie teilverspiegelte Linsen, verringert. Optische Isolatoren, wie sie in der optischen Nachrichtentechnik Verwendung finden, scheiden für Datenverbindungen über kurze Entfernungen aus Kostengründen aus.

Demgemäß liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vertikalresonator-Laserdiode zu schaffen, bei welcher der differentielle Quantenwirkungsgrad gezielt eingestellt werden kann und gleichzeitig die Rückwirkungsempfindlichkeit verringert werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

In der hier zu beschreibenden Erfindung wird der nach außen sichtbare, externe DQE durch mindestens eine absorbierende Schicht verringert, die in der Umgebung der Oberfläche der Vertikalresonator-Laserdiode (VCSEL) angeordnet ist. Die absorbierende Schicht reduziert die Zahl der nach außen gelangenden Photonen durch Fundamentalabsorption.

Die Erzeugung der lichtabsorbierenden Schicht kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten in den Herstellungsprozeß des VCSEL eingebunden werden.

In der ersten Ausführungsart wird die lichtabsorbierende Schicht gewissermaßen in den VCSEL monolithisch integriert, d. h. sie wird direkt im Anschluß an die Aufbringung der lichtaustrittsseitigen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge vorzugsweise mit ein- und demselben Wachstumsverfahren mit einer bestimmten Dicke auf diese aufgewachsen. Daran anschließend wird eine lichtaustrittsseitige elektrische Kontaktschicht auf die lichtabsorbierende Schicht aufgebracht und mit einer Lichtaustrittsöffnung versehen. Dann wird die Lichtleistung des VCSEL gemessen und der differentielle Quantenwirkungsgrad bestimmt. Abwechselnd wird dann die lichtabsorbierende Schicht im Bereich der Lichtaustrittsöffnung abgeätzt und die Lichtleistung gemessen und dieser Verfahrensschritt wird so lange fortgesetzt, bis der gewünschte differentielle Quantenwirkungsgrad erreicht ist.

In der zweiten Ausführungsart wird der VCSEL fertigprozessiert und die lichtabsorbierende Schicht wird nach-

träglich auf die lichtaustrittsseitige elektrische Kontaktschicht aufgebracht. Die Einstellung der geeigneten Dicke kann wiederum auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Die lichtabsorbierende Schicht kann zum einen wie in der ersten Ausführungsart mit einer bestimmten ausreichenden Dicke aufgebracht und alternierend mit Lichtleistungsmessungen abgeätzt werden. Die lichtabsorbierende Schicht kann zum anderen schrittweise mit geringen Schichtdickenzunahmen und alternierend mit Lichtleistungsmessungen aufgebracht werden.

Für die in der heutigen optischen Datenübertragung wichtige Wellenlänge von 850 nm kann in der ersten Ausführungsart als absorbierende Schicht z. B. eine bis zu mehrere µm dicke GaAs-Schicht verwendet werden. In der zweiten Ausführungsart kann beispielsweise amorphes Silizium durch ein geeignetes Abscheideverfahren aufgebracht werden.

Die absorbierende Schicht verringert neben dem differentiellen Quantenwirkungsgrad auch gleichzeitig die externe Steilheit des Bauelementes, ohne die interne Photonendichte nennenswert zu erhöhen. Außerdem werden externe Reflexionen, die in den optischen Resonator des VCSELs zurückfallen, von dieser absorbierenden Schicht gedämpft, so daß eine verbesserte Stabilität des Bauelementes gegenüber externen Rückwirkungen gegeben ist.

Im folgenden werden die zwei Ausführungsarten der vorliegenden Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten fertigprozessierten VCSELs näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 den epitaktischen Schichtaufbau einer erfindungsgemäßen Vertikalresonator-Laserdiode, die nach der ersten Ausführungsart hergestellt wurde;

Fig. 2 den epitaktischen Schichtaufbau einer erfindungsgemäßen Vertikalresonator-Laserdiode, die nach der zweiten Ausführungsart hergestellt wurde;

Die erste Ausführungsart gemäß Fig. 1 zeigt den epitaktischen Schichtaufbau einer erfindungsgemäßen Vertikalresonator-Laserdiode 10, bei der eine lichtabsorbierende Schicht 9 in die Laserdiode monolithisch integriert ist.

Auf einem GaAs-Substrat 6 befindet sich eine erste, untere Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 2, die aus einzelnen identischen Spiegelpaaren 22 aufgebaut ist. Die Spiegelpaare bestehen jeweils aus zwei AlGaAs-Schichten unterschiedlicher Bandlücke. In gleicher Weise ist eine zweite, obere Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 aus entsprechenden Spiegelpaaren 44 aufgebaut. Zwischen der unteren und der oberen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge ist eine aktive Schichtenfolge 3 eingebettet, die eine aktive Zone 3a aufweist. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt die Emissionswellenlänge der Laserdiode 850 nm. Auf der oberen Oberfläche der Laserdiode 10 befindet sich eine erste Metallisierungsschicht 7, die für den elektrischen Anschluß der p-dotierten Seite der Laserdiode 10 verwendet wird. Die erste Metallisierungsschicht 7 weist eine zentrale Öffnung für den Durchtritt der Laserstrahlung auf. Die n-dotierte Seite der Diode wird üblicherweise über eine am Substrat 6 kontaktierte zweite Metallisierungsschicht 8 elektrisch angeschlossen.

Die obere Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 enthält in dem Ausführungsbeispiel ein Spiegelpaar 44, welches eine sogenannte Stromapertur 41 enthält. Die Stromapertur 41 sorgt für eine laterale Strombegrenzung und definiert damit die eigentliche aktive lichtemittierende Fläche in der aktiven Zone 3a. Der Stromfluß wird auf den Öffnungsbereich der Stromapertur 41 beschränkt. Somit liegt die lichtemittierende Fläche direkt unterhalb dieses Öffnungsbereichs in der aktiven Zone 3a. Die Stromapertur 41 kann in bekannter Weise durch partielle Oxidation der AlGaAs-Schichten des betreffenden Spiegelpaares oder durch Ionen- oder Proto-

nemimplantation hergestellt werden.

Die obere Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 der Laserdiode 10 ist in Form einer Mesa-Struktur oberhalb der aktiven Schicht 3 strukturiert. Die mesaförmige obere Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 wird seitlich durch eine geeignete Passivierungsschicht 11 umschlossen.

Oberhalb der oberen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 ist eine lichtabsorbierende Schicht 9 aufgebracht, durch die eine gezielte Abschwächung der emittierten Lichtstrahlung durch Lichtabsorption eingestellt werden kann. Mit dieser Schicht 9 kann somit der differentielle Quantenwirkungsgrad (DQE) der Laserdiode gezielt eingestellt werden. Bei einer Emissionswellenlänge von 850 nm – wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel – bietet sich als Material für die lichtabsorbierende Schicht 9 GaAs mit einer Schichtdicke in der Größenordnung von einigen µm an. Die GaAs-Schicht wird vorzugsweise mit den anderen Halbleiterschichten der Laserdiode zusammen aufgewachsen. Als Wachstumsverfahren dient MBE (Molekularstrahlepitaxie) oder MOCVD (metallorganische Gasphasenepitaxie). Obwohl die gewünschte Schichtdicke durch Einstellung der Wachstumsparameter relativ genau eingestellt werden kann, ist der differentielle Quantenwirkungsgrad das Produkt mehrerer Faktoren wie z. B. der Materialabsorption, die wiederum von der Dotierung abhängig ist. Daher erfolgt die Einstellung der DQE dadurch, daß die lichtabsorbierende Schicht 9 zunächst mit einer hinreichenden Schichtdicke aufgewachsen und anschließend teilweise wieder abgeätzt wird.

Das Bauelement wird also zunächst fertiggestellt und die emittierte Lichtleistung wird gemessen und daraus wird der DQE ermittelt. Dann wird die lichtabsorbierende Schicht im Bereich der Lichtaustrittsöffnung der ersten elektrischen Kontaktschicht teilweise abgeätzt, wobei die aufgebrachte Metallisierungsschicht 7 als Ätzmaske wirken kann. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Bauelement ist die in die GaAs-Schicht 9 geätzte Vertiefung und die geringfügigen Unterätzungen im Randbereich der Lichtaustrittsöffnung zu erkennen.

Die Herstellung der Mesa-Struktur der Laserdiode und die Erzeugung der Oxidapertur 41 erfolgt nach dem Aufwachsen der lichtabsorbierenden Schicht 9. Dann wird die Struktur mit der Passivierungsschicht 11 planarisiert und die erste Kontaktschicht 7 aufgebracht, worauf – wie bereits beschrieben – die Einstellung der Schichtdicke der lichtabsorbierenden Schicht durchgeführt wird.

In Fig. 2 ist eine erfindungsgemäße Vertikalresonator-Laserdiode 20 dargestellt, die nach der zweiten Ausführungsart hergestellt wurde. Der Einfachheit halber sind für funktions- oder bedeutungsgleiche Elemente wie in Fig. 1 die gleichen Bezugsziffern gewählt worden und deren Erläuterung wird hier weggelassen.

Bei dieser Ausführungsart wird der VCSEL fertigungsprozessiert und auf die Lichtaustrittsseite Bragg-Reflektor-Schichtenfolge 4 wird die erste elektrische Kontaktschicht 7 mit der Lichtaustrittsöffnung aufgebracht. Gewünschtenfalls kann zunächst die Lichtleistung gemessen und der DQE des VCSEL bestimmt. Danach erfolgt die Aufbringung der lichtabsorbierenden Schicht 9, die in dieser Ausführungsart beispielsweise aus amorphem Silizium bestehen kann. Diese wird zunächst mit einem geeigneten Abscheideverfahren wie z. B. Aufdampfen auf die Lichtaustrittsöffnung aufgebracht. Vorzugsweise wird die Schicht 9 durch eine geeignete Maskierung oder durch Lift-Off-Technik derart aufgebracht, daß sie die Lichtaustrittsöffnung bedeckt und die erste Kontaktierungsschicht 7 im Randbereich geringfügig überlappt.

Die geeignete Schichtdicke der lichtabsorbierenden

Schicht 9 kann durch wechselweises Aufbringen der Schicht und Messen der Lichtleistung eingestellt werden, wobei der Verfahrensschritt beendet wird, wenn der gewünschte DQE erreicht ist. Es kann aber auch wie bei der ersten Ausführungsart zuerst eine ausreichende Schichtdicke aufgebracht werden und anschließend durch wechselweises Abätzen und Messen der Lichtleistung die geeignete Schichtdicke eingestellt werden.

Bezugszeichenliste

- 2 erste Bragg-Reflektor-Schichtenfolge
- 3 aktive Schichtenfolge
- 3a aktive Zone
- 4 zweite Bragg-Reflektor-Schichtenfolge
- 6 Substrat
- 7 erste Metallisierungsschicht
- 8 zweite Metallisierungsschicht
- 9 lichtabsorbierende Schicht
- 10 Vertikalresonator-Laserdiode
- 11 Passivierungsschicht
- 20 Vertikalresonator-Laserdiode
- 22 Bragg-Reflektor-Schichtenfolge
- 41 Stromapertur
- 44 Bragg-Reflektor-Schichtenfolge

Patentansprüche

1. Vertikalresonator-Laserdiode (10, 20), bei der
 - zwischen einer ersten Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (2) und einer zweiten Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (4), von denen jede eine Mehrzahl von Spiegelpaaren (22, 44) aufweist, eine aktive Schichtenfolge (3) zur Erzeugung von Laserstrahlung angeordnet ist,
 - die beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) einen Laser-Resonator bilden,
 - die beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) und die aktive Schichtenfolge (3) zwischen einer ersten (7) und einer zweiten elektrischen Kontaktschicht (8) angeordnet sind,
 - eine (4) der beiden Bragg-Reflektor-Schichtenfolgen (2, 4) für die in der aktiven Schichtenfolge (3) erzeugte Laserstrahlung teildurchlässig ist, dadurch gekennzeichnet, daß
 - mindestens eine lichtabsorbierende Schicht (9) mit einer definierten Lichtabsorption auf der Lichtaustrittsseite der teildurchlässigen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (4) angeordnet ist.
2. Vertikalresonator-Laserdiode (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die lichtabsorbierende Schicht (9) zwischen der teildurchlässigen Bragg-Reflektor-Schichtenfolge (4) und der ersten elektrischen Kontaktschicht (7) angeordnet ist.
3. Vertikalresonator-Laserdiode (20) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die lichtabsorbierende Schicht (9) auf der Lichtaustrittsseite der ersten elektrischen Kontaktschicht (7) aufgebracht ist.
4. Vertikalresonator-Laserdiode (10, 20) nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die lichtabsorbierende Schicht (9) im Bereich der Lichtaustrittsöffnung zur Einstellung der definierten Lichtabsorption gezielt abgeätzt ist.
5. Verfahren zur Herstellung einer Vertikalresonator-Laserdiode nach Anspruch 2, bei welchem
 - auf ein Halbleitersubstrat nacheinander die er-

ste Bragg-Reflektor-Schichtenfolge, die aktive Schichtenfolge, die zweite Bragg-Reflektor-Schichtenfolge und die lichtabsorbierende Schicht mit einer bestimmten Dicke aufgebracht wird,
- auf die lichtabsorbierende Schicht die erste elektrische Kontaktschicht mit einer Lichtaustrittsöffnung aufgebracht wird und auf die Substratrückseite die zweite elektrische Kontaktschicht aufgebracht wird,
- die Lichtleistung gemessen und der differentielle Quantenwirkungsgrad bestimmt wird und die lichtabsorbierende Schicht im Bereich der Lichtaustrittsöffnung so lange abgeätzt wird, bis ein gewünschter differentieller Quantenwirkungsgrad erreicht ist.

6. Verfahren zur Herstellung einer Vertikalresonator-Laserdiode nach Anspruch 3, bei welchem

- auf ein Halbleitersubstrat nacheinander die erste Bragg-Reflektor-Schichtenfolge, die aktive Schichtenfolge und die zweite Bragg-Reflektor-Schichtenfolge aufgebracht wird,
- auf die zweite Bragg-Reflektor-Schichtenfolge die erste elektrische Kontaktschicht mit einer Lichtaustrittsöffnung aufgebracht wird, und auf die Substratrückseite die zweite elektrische Kontaktschicht aufgebracht wird,
- im Bereich der Lichtaustrittsöffnung die lichtabsorbierende Schicht aufgebracht wird, wobei
- entweder die lichtabsorbierende Schicht mit einer bestimmten Dicke aufgebracht, die Lichtleistung gemessen und der differentielle Quantenwirkungsgrad bestimmt wird und die lichtabsorbierende Schicht im Bereich der Lichtaustrittsöffnung so lange abgeätzt wird, bis ein gewünschter differentieller Quantenwirkungsgrad erreicht ist,
- oder die lichtabsorbierende Schicht schrittweise aufgebracht wird, wobei zwischendurch die Lichtleistung gemessen und der differentielle Quantenwirkungsgrad bestimmt wird, und der Verfahrensschritt beendet wird, sobald ein gewünschter differentieller Quantenwirkungsgrad erreicht ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

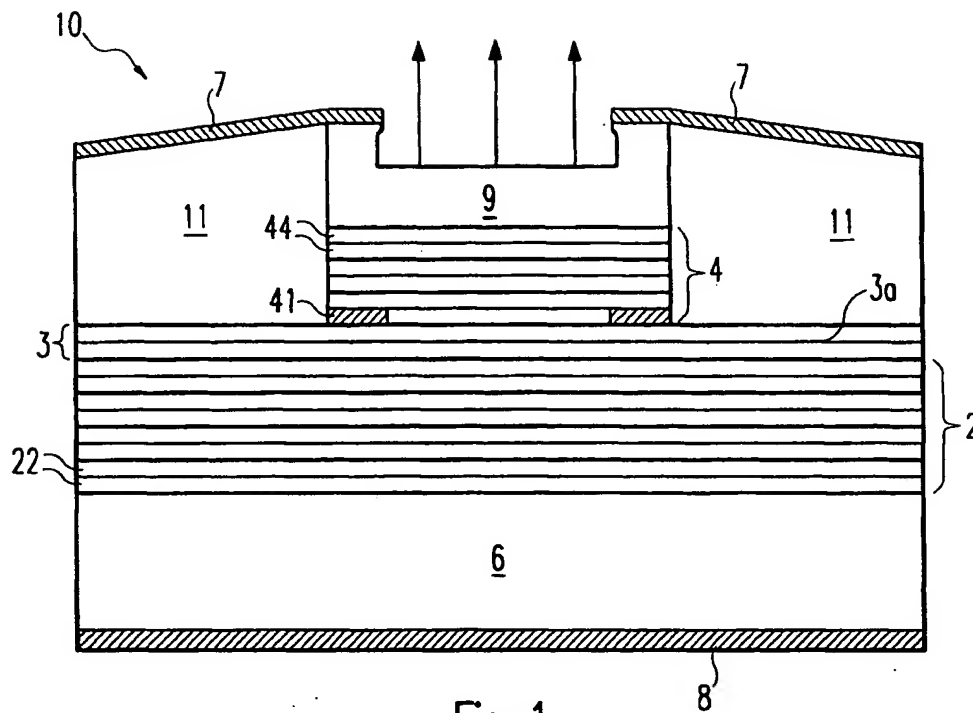


Fig. 1

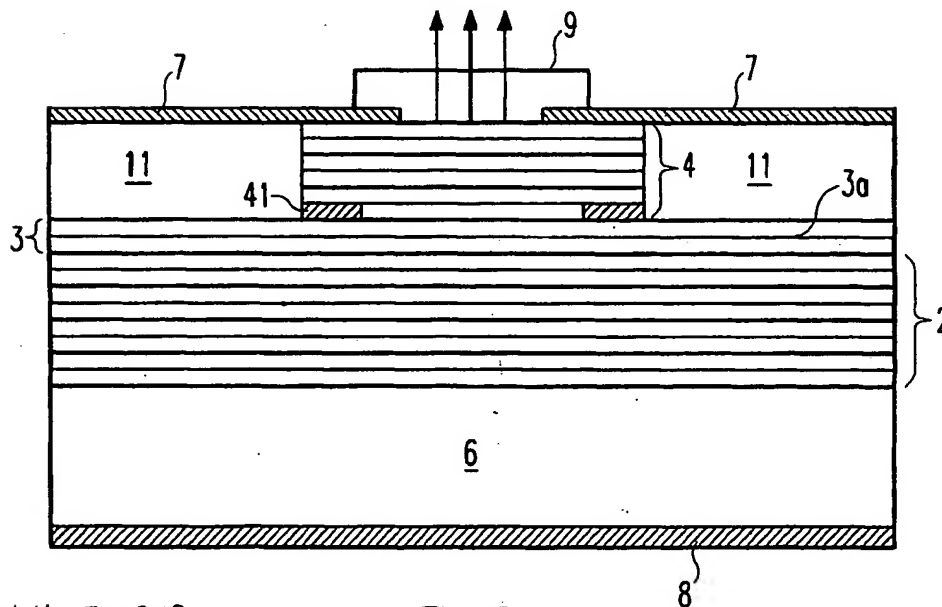


Fig. 2

Docket # MAN-IT 213

Applic. # 10/047,613

Applicant: Karl Joachim Ebeling

Lerner and Greenberg, P.A. et al.

Post Office Box 2480

Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101